



STUDIER AV SPÅR AV TUNGA JONER UR DEN KOSMISKA STRÅLNINGEN
MED HJÄLP AV FOTOMETERMÄTNINGAR I KÄRNEMULSIONER

LEIF LARSSON
LUND 1973

STUDIER AV SPÅR AV TUNGA JONER UR DEN KOSMISKA STRÅLNINGEN

MED HJÄLP AV FOTOMETERMÄTNINGAR I KÄRNEMULSIONER

av

Leif Larsson

FM, Hb

Akademisk avhandling som för avläggande av filosofie doktorsexamen vid matematisk-naturvetenskapliga fakulteten vid universitetet i Lund kommer att offentligen försvaras å Fysiska institutionens föreläsningssal B fredagen den 5 oktober 1973 kl 10.15.

INLEDNING

En rikligare kunskap om de olika grundämnenas relativa förekomst i den kosmiska strålningen är av stort värde när man vill förstå hur strålningen genereras, accelereras och transporteras. Inhämtandet av denna kunskap är vanligen hänvisad till att äga rum i jordens omedelbara närhet, t.ex. genom att skicka upp raketer, höghöjdsballonger eller satelliter. Den apparatur som används för att registrera strålningen kan vara av olika beskaffenhet. Vanligast är att i fotografiska kärnemulsioner, i plastdetektorer eller i elektroniska räknare registrera strålningen. Vid de i denna avhandling behandlade undersökningarna har endast kärnemulsioner kommit till användning som detektor. Emulsionstekniken är den äldsta och i många avseenden den mest användbara när det gäller att registrera tunga partiklar. Detektorn består av ett stort antal tunna skikt av emulsion packade tätt intill varandra. En "normal" detektor har en volym av någon liter.

När en laddad partikel passerar genom materia växelverkar partikelns elektriska fält med atomärt bundna elektroner i absorbatorn. Denna växelverkan resulterar i energiförlust för partikeln, och en motsvarande energimängd deponeras i absorbatorn. Man säger att partikeln förlorar energi genom jonisation. Innehåller absorbatorn silverhalogenkristaller, och det gör en fotografisk kärnemulsion, kan den i kristallerna avlämnade energin påverka dessa så att man med hjälp av en framkallningsprocedur kan reducera ut dem till metalliskt silver. På så sätt erhålles ett iakttagbart spår i emulsionen av den passerade partikeln. Den avlämnade energin avlämnas väsentligen i eller intill jonens bana, men på grund av att de atomära elektronerna sprides ut och därvid överlämnar energi till omgivande absorbatormateria, erhålles

Digitized by the Internet Archive
in 2026

framkallningsbara korn ett stycke utanför den egentliga partikelbanan, man får s.k. deltastrålar. Ett spår efter en tung partikel består således av en spårkärna från vilken det på ett oregelbundet sätt löper ut en stor mängd, företrädesvis korta, deltastrålar. Den avlämnade energimängden per volymsenhet avtar kraftigt med det vinkelräta avståndet från partikelbanan. Bredden på det framkallade spåret är ett mått på jonisationen och beror i huvudsak på jonens laddning och hastighet, dvs man behöver i princip mäta två jonisationsparametrar för att kunna göra en korrekt laddningsbestämning.

Vid studiet av kosmisk strålning med hjälp av fotografiska kärnemulsioner har uppmärksamheten väsentligen varit riktad mot två energiområden: dels lågenergiområdet där partiklarna stoppar inom detektorn, dels det energiområde där partiklarna anses ha konstant jonisation, partiklarna säges vara "relativistiska". I dessa två fall är det principiellt enkelt att laddningsbestämma partiklarna. I lågenergifallet mäter man återstående räckvidd jämte en annan jonisationsparameter, t.ex. spårbredden, medan det i det relativistiska energiområdet räcker med en jonisationsparameter för korrekt identifiering, eftersom man gör antagandet att hastigheten är tillräckligt hög för att partikeln skall ha konstant jonisation.

I de undersökningar där man studerar relativistiska partiklar måste man förvissa sig om att partikelenergin är tillräckligt hög för att identifiering medelst mätning av en parameter skall vara tillfyllest. Den vanliga metoden är att utnyttja det geomagnetiska fältets förmåga att avlänsa laddade partiklar i rörelse. Således kan man för varje geografisk ort och för varje riktning beräkna det geomagnetiska fältets cutoffenergi, dvs beräkna den energi en partikel minst måste ha för att nå ner till jorden. Sådana beräkningar bygger på en matematisk representation av det geomagnetiska fältet. Siffervärdena på de i modellen nödvändiga konstanterna har bestämts på olika sätt men företrädesvis grundas de på data från s.k. neutronmonitorer. Räkningarna tar också hänsyn till att partiklarna inte kan passera genom jorden. Eftersom räkningarna blir komplicerade har man nöjt sig med att för den geografiska ort som är aktuell ange en effektiv vertikal tröskelenergi.

AVHANDLINGEN

Föreliggande avhandling utgör en del av det forskningsprogram vars mål är att bestämma laddningsspektret hos den kosmiska strålningen vid höga energier. Avhandlingen behandlar i huvudsak resultat av mätningar på spår av tunga joner ur den kosmiska strålningen över Texas, U.S.A., där den geomagnetiska cutoffen ansetts vara så hög att endast s.k. relativistiska partiklar registreras. Avhandlingen behandlar dessutom resultat av mätningar på spår av stoppande partiklar registrerade över Fort Churchill i norra Kanada där den geomagnetiska cutoffen är så låg att även lågenergetiska partiklar kan registreras. De senare mätningarna har gjorts för att studera spårstrukturens laddnings- och hastighetsberoende och resultaten har delvis använts i analysen av de förra. Avhandlingen omfattar följande fem arbeten:

- I The velocity dependence of the photometrically determined track width of heavy ions in Ilford G5 nuclear emulsions
Antaget för publicering i Nuclear Instruments and Methods.
(Tillsammans med R. Andersson och O. Mathiesen)

- II Photometric measurements on tracks of very heavy cosmic ray particles with $E > 1$ GeV/nucleon
Antaget för publicering som abstract i International Nuclear Information System (INIS) och Nuclear Science Abstract (NSA) samt insänt till ESRO Space Documentation Service för publicering som abstract i NASA Information System.
(Tillsammans med R. Andersson och O. Mathiesen)

- III Cosmic ray particles with low rigidities at Texas, U.S.A.
Antaget för publicering i Proceedings of the 13th International Conference on Cosmic Rays, Denver, Colorado, U.S.A., augusti 1973
(Tillsammans med R. Andersson och O. Mathiesen)

IV The relation between restricted energy loss and track width in nuclear emulsions

Publicerat i Nuclear Instruments and Methods 104, 611 (1972)

(Tillsammans med M. Jensen och R. Rosander)

V An experimental study of the formation of tracks of fast heavy ions in Ilford G5 nuclear emulsions

Antaget för publicering i Proceedings of the 13th International Conference on Cosmic Rays, Denver, Colorado, U.S.A., augusti 1973

(Tillsammans med M. Jensen, O. Mathiesen och R. Rosander)

Rapporter har lämnats vid

- 1) Svenska nationalkommittéens för fysik konferens i Lund, juni 1972
- 2) 13th International Conference on Cosmic Rays, Denver, Colorado, U.S.A., augusti 1973

Föreliggande avhandling baseras på analys av fotometriska spårbreddsmätningar. Mätningarna har utförts med två typer av fotometrar. I arbetena I, II, III och IV har en s.k. spaltfotometer kommit till användning. En beskrivning av den återfinnes i arbete II. Denna fotometer integrerar det ljus som passerar genom en centralspalt i vars mitt spåret har injusterats och ljusmängden som registreras jämföres med en tom centralspalts. I arbete V och delvis i arbete II har en profilfotometer använts. En sådan beskrivs av Jacobsson et al (1). Med denna typ av fotometer kan man studera hur ett infallande ljusflöde absorberas kring ett spår. Man mäter det passerande ljusflödet som funktion av avståndet från spårcentrum och erhåller på så sätt en ljusabsorptionsprofil.

I arbete I studeras sambandet mellan en jons laddningstal Z , dess hastighet β och den fotometriskt bestämda spårbredden

$W(\beta, Z)$ för tunga joner, $14 \leq Z \leq 26$, och för ett begränsat hastighetsintervall, $0.4 \leq \beta \leq 0.8$. Den funna relationen kan skrivas

$$W(\beta, Z) = W_0(Z) \beta^{-\alpha(Z)}$$

där $W_0(Z)$ är den hypotetiska spårbredden vid $\beta=1$ och $\alpha(Z)$ är en lineär funktion av Z . Det visar sig också att $\alpha(Z)$ för ett givet Z beror på bredden av fotometerns centralspalt. Som påpekats tidigare fordras i princip två jonisationsparametrar för identifiering. Om partikeln som skall identifieras inte stoppar inom detektorn men ändå ändrar sin jonisation utefter spåret är det lämpligt att använda spårbredden och dess förändring utefter spåret som jonisationsparametrar. Sambandet mellan dessa två storheter har bestämts med laddningstalet som parameter.

I arbete II redovisas ett försök att bestämma laddningsspektret för primär kosmisk strålning vid energier över 1 GeV/nukleon. Detektorn består av Ilford G5 emulsioner vilka exponerats över Texas i U.S.A. Vid identifieringen av ett antal icke-relativistiska partiklar kommer relationen mellan spårbredd och dess förändring utefter spåret, vilken fastlagts i arbete I, till användning. Intensiteten av tunga partiklar har beräknats och resultaten överensstämmer med Freier och Waddington(2) vilkas detektor flögs vid samma tillfälle som den här använda. Deras spårbreddsfördelning överensstämmer i stort med den här erhållna. Av arbete II framgår att de partiklar som registreras över Texas inte alla kan anses vara relativistiska. Det synes också vara klarlagt att det är olämpligt att ange effektiv vertikal cutoff om man avser att beskriva den geomagnetiska energidiskriminators undre gräns. Med hänsyn till förekomsten av icke-relativistiska partiklar över Texas bör man för korrekt identifiering mäta två jonisationsparametrar.

I arbete III redovisas en noggrannare genomgång av de i arbete II observerade icke-relativistiska partiklarna. Av arbetet framgår att de tidigare flitigt använda beräkning-

är att få en bättre bild av hur deltastrålarna bidrager till spårbredden. På så sätt bör det vara möjligt att dra slutsater om hur man lämpligen bör välja sin fotometer vid kommande laddningsbestämningar.

Vid avslutandet av detta arbete önskar jag framföra mitt tack till professor Krister Kristiansson för det stöd och det intresse med vilket han följt detta arbete samt för alla de diskussioner och goda råd jag fått ta del av. Jag står också i största tacksamhetsskuld till min handledare och medförfattare, docent Olev Mathiesen, som på ett engagerat sätt bibringat mig råd och synpunkter ur sitt allomfattande kunnande. Mina medförfattare fil.mag. Rolf Andersson, fil.kand. Mikael Jensen och fil.dr. Reine Rosander skall alla ha ett varmt tack för stimulerande samarbete. Ett varmt tack riktas också till fröken Birgit Lindkvist för all hjälp med såväl framkallnings- och scanningarbete som andra emulsions-tekniska insatser och det intresse hon visat för denna undersökning. Jag vill tacka fil.kand. Kaj Söderström, fil.mag. Stefan Behrnetz och fil.mag. Sten Lindstam för deras tillmötesgående och hjälp vid arbetet i Fort Churchill-stacken samt alla mina kollegor för stimulerande samvaro och gott kamratskap. Slutligen vill jag tacka fröken Elna-Greta Broomé för vänlig hjälp med figurmaterialet, sekreterare Malte Henrysson för utskrifter och stencileringsarbete samt instrumentmakare Uno Persson för hjälp vid apparatbyggandet.

Avdelningen för kosmisk högenergifysik
Fysiska Institutionen, Lunds Universitet
Augusti 1973

SUMMARY

The present thesis concerns the problem of determination of the charge spectrum of relativistic very heavy cosmic ray particles. The nuclear emulsion technique has been used, the measured quantity being the photometrically determined track width W . The emulsions used for charge identification were exposed to the primary cosmic radiation over Texas, U.S.A., on July 1, 1966. It was found that there existed a non-negligible number of non-relativistic particles. To make a correct charge identification possible the relation between W and the velocity of the ion β has been established for different charge numbers Z . Nevertheless the existence of non-relativistic particles makes the track width distribution hard to interpret correctly and the charge resolution could not be brought to a satisfactory level. The intensities at the top of the atmosphere of MH-nuclei, $16 \leq Z \leq 19$, and VH-nuclei, $20 \leq Z \leq 28$, are found to be 0.092 ± 0.020 and $0.38 \pm 0.04 \text{ (m}^2 \text{ sr s)}^{-1}$ respectively. The non-relativistic particles are studied more closely and the experimental rigidity spectrum is found to extend to about 3 GV at the top of the atmosphere, in excellent agreement with the calculations of Shea and Smart. The implications of the low cutoff rigidity on the heavy cosmic ray charge spectrum are briefly discussed.

In studies of the very heavy charge spectrum it is desirable, in many instances, to predict the response of the registration equipment. Therefore this thesis also concerns the response of the combination emulsion detector and photometric apparatus for different Z and β . A number of different combinations are studied. The relation between restricted energy loss, REL, and W is studied for charge numbers $4 \leq Z \leq 26$ for two types of nuclear emulsions: Ilford G5 and Ilford K2. REL is found to be a convenient tool for calibration purposes in limited energy intervals. In another study we compare the track formation model emanating from Katz and Kobetich with experimental data points. It is found that when using the algorithms of Mathiesen and taking the backscattering of light into account the theoretical ab-

sorption profiles were brought into good agreement with experimental data.

REFERENSER

1. L. Jacobsson, G. Jönsson, K. Söderström och H. Håkansson
Antaget för publicering i Nuclear Instruments and Methods
Föreligger också som Cosmic Ray Physics Report
LUIP-CR-73-04 (Lund 1973)
2. P.S. Freier och C.J. Waddington
Phys. Rev. 175 (1968) 1641
3. J.J. Quenby och G.J. Wenk
Phil. Mag. 7 (1962) 1457
4. M.A. Shea och D.F. Smart
Proc. 12th Int. Conf. Cosmic Rays (1971) 848
5. R. Katz och J.J. Butts
Phys. Rev. 137 (1965) 198
6. R. Katz och E.J. Kobetich
Phys. Rev. 186 (1969) 261
7. O. Mathiesen
Antaget för publicering i Proceedings of the 8th International Conference on Nuclear Photography and Solid State Track Detectors (Bucharest 1972)
Föreligger också som Cosmic Ray Physics Report
LUIP-CR-72-11 (Lund 1972)

